

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10294532 A**

(43) Date of publication of application: **04.11.98**

(51) Int. Cl.

H01S 3/18
H01L 33/00

(21) Application number: **10038324**

(22) Date of filing: **20.02.98**

(30) Priority: **21.02.97 JP 09 37798**

(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**

(72) Inventor:
SAITO SHINJI
IIZUKA NORIO
HATAGOSHI GENICHI
ONOMURA MASAOKI
FUJIMOTO HIDETOSHI
NOZAKI CHIHARU
NISHIO JOSHI
ISHIKAWA MASAYUKI

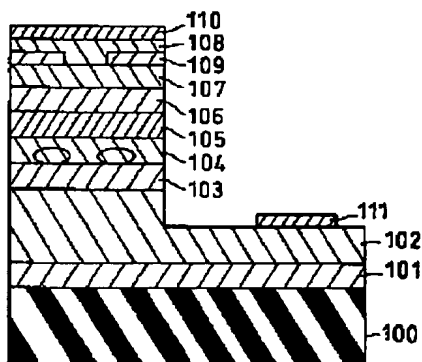
**(54) NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR LIGHT
EMITTING ELEMENT AND ITS MANUFACTURE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain self-excited oscillation with simple structure.

SOLUTION: The self-excited oscillation is possible by forming an n type $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ multiquantum well adjacent layer 104 as a saturable absorption area adjacently to an $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ multiquantum well active layer 105 or $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ multiquantum well active layer 105 of this light emitting element. Consequently, this light emitting element satisfies practical performance as a read optical head for optical disk recording.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-294532

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-38324

(22) 出願日 平成10年(1998)2月20日

(31) 優先権主張番号 特願平9-37798

(32) 優先日 平9(1997)2月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 斎藤 真司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 飯塚 紀夫

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 外川 英明

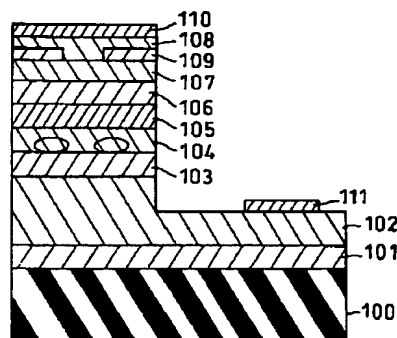
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物系半導体発光素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構造で自励発振を行うことが可能な窒化物半導体発光素子およびその製造方法を提供すること。

【解決手段】 窒化物系半導体発光素子の $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸活性層 105 または $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸活性層 105 に隣接する n 型 $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸隣接層 104 を可飽和吸収領域にすることにより自励発振を生じさせるようにした、光ディスク記録の読み出し用光ヘッドとして実用可能な性能を満たした窒化物系半導体発光素子及びその製造方法。



100: サファイヤ基板
101: n 型 GaN バッファ層
102: n 型 GaN コンタクト層
103: n 型 AlGaIn クラッド層
104: n 型 $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸隣接層
105: $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸活性層
106: p 型 GaN 隣接層
107: p 型 AlGaIn クラッド層
108: p 型 GaN コンタクト層
109: n 型 GaN 通電障壁層
110: p 側電極
111: n 側電極

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のII I - V族化合物半導体からなる混晶層が積層形成された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には、この隣接層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域の前記1つの元素の濃度は、前記六方晶系の結晶のC軸に垂直な方向での組成の変化が2 nm以内で10パーセント以上異なり、また、前記島状領域の最大径が100 nm以下であり、かつ前記島状領域の不純物濃度が周辺部の不純物濃度に比べて低いことを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項2】 前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを特徴とする請求項1記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項3】 前記隣接層には穴状領域が点在していることを特徴とする請求項1記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項4】 前記隣接層は多重量子井戸構造を有しており、前記島状領域を形成する前記1つの元素はインジウム、アルミニウムまたはガリウムのうちの少なくとも1つであることを特徴とする請求項1記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項5】 前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この活性層には、この活性層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10 meV以内の差で小さいバンドギャップを有することを特徴とする請求項1記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項6】 前記不純物はSi、C、Ge、Sn、Pbの内の少なくとも1つであることを特徴とする請求項1乃至5記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項7】 前記島状領域相互の間隔をd、その周辺部の屈折率をn、前記島状領域の発光波長をλとした時、 $\lambda m = 2nd$ (m=1、2、3、4)を満たすことを特徴とする請求項5記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項8】 前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれており、かつ、前記隣接層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層に隣接し活性層側ではない層を形成する半導体によって埋め込まれていることを特徴とする請求項5乃至7記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項9】 基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のII I - V族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを特徴とする窒化物系半

導体発光素子。

【請求項10】 前記隣接層には穴状領域が点在していることを特徴とする請求項9記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項11】 前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この活性層には、この活性層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10 meV以内の差で小さいバンドギャップを有することを特徴とする請求項9記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項12】 前記活性層は多重量子井戸構造をなしており、少なくともその一部はInGaInからなることを特徴とする請求項9記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項13】 基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII - V族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には穴状領域が点在していることを特徴とする窒化物系半導体発光素子。

【請求項14】 基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII - V族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子の製造方法において、前記多重量子井戸隣接層は、井戸層の成長用の原料ガスと障壁層の成長用の原料ガスを交互に所定時間供給して井戸層および障壁層を交互に成長させるとともに、前記井戸層の成長と前記障壁層の成長との間に所定の待機時間を設けることを特徴とする窒化物系半導体発光素子の製造方法。

【請求項15】 前記井戸層の成長用の原料ガスはトリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスであり、前記障壁層の成長用の原料ガスはトリメチルガリウムおよびアンモニアガスであることを特徴とする請求項14記載の窒化物系半導体発光素子の製造方法。

【請求項16】 基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII - V族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子を有機金属を用いた気相成長により製造するに際し、前記気相成長の原料ガスとして、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスを用い、成長温度を700℃以上850℃以下とし、かつ、すべての原料ガスとキャリアガス流量の総和を標準換算で一分間に10リットル以上50リットル以下とし、さらにV族元素とIII族元素のモル流量比を1000以上15000以下で、前記活性層をエビタキシャル成長させることを特徴とする窒化物系半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はGa₂N、AlGa₂N、InGa₂N等の窒化物系の化合物半導体を用いた発光素子およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】窒化物系化合物半導体については、サファイヤ、SiC、スピネルなどの基板上に成長する六方晶型結晶が現在のところ、最も良好な結晶とされている。しかしサファイヤ基板、スピネル基板は導電性が低いので電極はp型、n型とも窒化物半導体表面に形成している。半導体レーザのような高電流注入では表面を電流が多く流れるいわゆるリーク電流が生じ、発光に寄与する電流が少ないため、発光効率が低く、半導体レーザの信頼性も低い。さらに、リーク電流を防いだり、半導体レーザを低電流動作させるために必要な電流密度を上げるための、電流狭窄構造を形成することが困難である。このため、従来は低動作電流で高電流注入においてもリーク電流がなく信頼性の高い半導体レーザ構造が得られていない。

【0003】また、従来の光ディスク記録の読み出し用光ヘッドとしての半導体レーザは、発振中の強度変化によるノイズが問題となっており、この対策として例えば自励発振型構造が用いられるが、超薄膜活性層構造では自励発振を得ることは難しい。このため、高周波重畳法やレーザ自体を二種類用いる方法などが採用されているが、いずれも構造は複雑である。また、活性層の膜厚を場所により変えて2種類のレーザを形成する方法も報告されているが、この方法では活性層の厚さの制御が極めて難しいという問題がある。また、読み出しと書き込みを行うヘッドでは出力の異なる2種類のレーザを用いることが一般的であるが、いずれもその構造は複雑である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように従来の窒化物系半導体レーザでは光ディスク記録の読み出し側光ヘッドとして実用可能な性能を満たした半導体レーザを安価に容易に作成することは困難であった。

【0005】したがって、本発明の目的は上記事情を考慮し、簡単な構造で自励発振を行うことが可能な窒化物系半導体発光素子およびその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本願第1の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層が積層形成された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には、この隣接層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域の前記1つの元素の濃度は、前記六方晶系の結晶のC軸に垂直な方向での組成の変化が2nm以内で

10パーセント以上異なり、また、前記島状領域の最大径が100nm以下であり、かつ前記島状領域の不純物濃度が周辺部の不純物濃度に比べて低いことを有する窒化物系半導体発光素子である。

【0007】本願第2の発明は、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0008】本願第3の発明は、前記隣接層には穴状領域が点在していることを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。本願第4の発明は、前記隣接層は多重量子井戸構造を有しており、前記島状領域を形成する前記1つの元素はインジウム、アルミニウムまたはガリウムのうちの少なくとも1つであることを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0009】本願第5の発明は、前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この活性層には、この活性層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10meV以内の差で小さいバンドギャップを有する前記第1の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0010】本願第6の発明は、前記不純物はSi、C、Ge、Sn、Pbの内の少なくとも1つであることを有する前記第1乃至第6の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0011】本願第7の発明は、前記島状領域相互の間隔をd、その周辺部の屈折率をn、前記島状領域の発光波長をλとした時、 $\lambda m = 2nd$ (m=1、2、3、4)を満たすことを有する前記第5の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0012】本願第8の発明は、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれており、かつ、前記隣接層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層に隣接し活性層側ではない層を形成する半導体によって埋め込まれていることを有する前記第5乃至7の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0013】本願第9の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記活性層には穴状領域が点在し、この穴状領域が前記隣接層を形成する半導体によって埋め込まれていることを有する窒化物系半導体発光素子である。

【0014】本願第10の発明は、前記隣接層には穴状領域が点在していることを有する前記第9の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。本願第11の発明は、前記活性層は多重量子井戸構造を有しており、この

活性層には、この活性層を構成する1つの元素の濃度が周辺より高い島状領域が点在し、この島状領域は、この領域を囲む領域の材料のバンドギャップに比べて同じか、または、10meV以内の差で小さいバンドギャップを有する前記第9の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0015】本願第12の発明は、前記活性層は多重量子井戸構造をなしており、少なくともその一部はInGa_xN_{1-x}からなることを有する第9の発明に記載の窒化物系半導体発光素子である。

【0016】本願第13の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層が積層された窒化物系半導体発光素子において、前記隣接層には穴状領域が点在していることを有する窒化物系半導体発光素子である。

【0017】本願第14の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子の製造方法において、前記多重量子井戸隣接層は、井戸層の成長用の原料ガスと障壁層の成長用の原料ガスを交互に所定時間供給して井戸層および障壁層を交互に成長させるとともに、前記井戸層の成長と前記障壁層の成長との間に所定の待機時間を設けることを有する窒化物系半導体発光素子の製造方法である。

【0018】本願第15の発明は、前記井戸層の成長用の原料ガスはトリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスであり、前記障壁層の成長用の原料ガスはトリメチルガリウムおよびアンモニアガスであることを有する第14の発明に記載の窒化物系半導体発光素子の製造方法である。

【0019】本願第16の発明は、基板上に活性層およびこれに隣接する多重量子井戸隣接層を含む、六方晶系の結晶構造を有する3元以上のIII-V族化合物半導体からなる混晶層を積層形成した窒化物系半導体発光素子を有機金属を用いた気相成長により製造するに際し、前記気相成長の原料ガスとして、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムおよびアンモニアガスを用い、成長温度を700℃以上850℃以下とし、かつ、すべての原料ガスとキャリアガス流量の総和を標準換算で一分間に10リットル以上50リットル以下とし、さらにV族元素とIII族元素のモル流量比を1000以上15000以下で、前記活性層をエピタキシャル成長させることを有する窒化物系半導体発光素子の製造方法である。

【0020】要約すれば、本発明は、窒化物半導体発光素子の活性層または活性層に隣接する隣接層を可飽和吸収領域にすることにより自励発振を生じさせるようにしたものである。

【0021】したがって、本発明によれば、自励発振を

複雑な構造を用いずに発生することかでき、低ノイズの特性をもった光ディスク記録の読み出し用半導体レーザを形成できる。また、書き込み用を読み出し用と同じ構造で作製が可能で、書き込み読み出し両用ヘッドの構造を簡素化できる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を用いて詳細に説明する。図1は本発明の第1の実施形態に係わる窒化物系半導体レーザの概略構成を説明する断面図である。同図中で、100はサファイア基板、101はn型Ga_xN_{1-x}バッファ層（Siドープ、3~5×10¹⁸cm⁻³、0.1μm）であり、102はn型Ga_xN_{1-x}コンタクト層（Siドープ、3~5×10¹⁸cm⁻³、4μm）、103はn型Al_xGa_{1-x}Nクラッド層（Siドープ、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm）、104はn型In_xGa_{1-x}N_{1-x}/Ga_xN_{1-x}多重量子井戸(multiple quantum well)隣接層（Siドープ、5×10¹⁷cm⁻³、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ベアー数3）、105はIn_xGa_{1-x}N_{1-x}/Ga_xN_{1-x}多重量子井戸活性層（アンドープ、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ベアー数3）、106はp型Ga_xN_{1-x}隣接層（Mgドープ、5×10¹⁷cm⁻³、0.1μm）、107はp型Al_xGa_{1-x}N_{1-x}クラッド層（Mgドープ、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm）、108はp型Ga_xN_{1-x}コンタクト層（Mgドープ、1~3×10¹⁸cm⁻³、0.5μm）、109はn型Ga_xN_{1-x}通電障壁層（Siドープ、1×10¹⁸cm⁻³、0.3μm）、110はp側電極、111はn側電極である。

【0023】図1に示した半導体レーザの製造方法は次のとおりである。始めに有機金属を用いた気相成長(Metal Organic Chemical Vapour Deposition: MOCVD)法により、サファイア基板100の上に、n型Ga_xN_{1-x}バッファ層101からn型Ga_xN_{1-x}層109まで成長する。その後、n型Ga_xN_{1-x}層109の上に一部フォトリソグラフィによりマスクを形成し、p型Al_xGa_{1-x}N_{1-x}クラッド層107が露出するまでエッチングを行う。次に、p型Ga_xN_{1-x}コンタクト層108を成長する。その後n型Ga_xN_{1-x}コンタクト層102を形成するためにn型Ga_xN_{1-x}コンタクト層102を形成する部分をマスクで覆いエッチング除去する。マスクを除去しn側電極111、p側電極110を形成し、図1の構造の窒化物系半導体レーザが製造できる。

【0024】ここで、前記n型In_xGa_{1-x}N_{1-x}/Ga_xN_{1-x}多重量子井戸隣接層104（Siドープ、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ベアー数3）は次のように成長させる。成長温度は760℃、In_xGa_{1-x}N_{1-x}層の成長には、TMI（トリメチルインジウム）、TMG（トリメチルガリウム）、アンモニアガスおよびシランを用い、通常の厚膜成長で1μm/hの成長速度が得られる条件下で8秒間成長する。これによって幅2nmの井戸

層が形成される。ついで、1秒間の待機時間においてTMG（トリメチルガリウム）、アンモニアガスおよびシランを用い、同じ成長速度の条件下で18秒間成長させる。これによって幅4nmの障壁層が形成される。以下同じプロセスを3回繰り返す、井戸（well）層と障壁（barrier）層のペアを3組積層形成した。

【0025】このようにして成長した多重量子井戸隣接層104には、層の面内方向において、In組成が局所的に多い部分が形成されることが判明した。図2は、カソード・ルミネッセンス法による多重量子井戸隣接層104の井戸層の発光波長の面内分布を表す模式図である。すなわち、同図中においては、ハッチで示した領域において、周囲よりも波長の長い発光が観察された。一般に、カソード・ルミネッセンス法により得られる発光の波長は、ターゲットの組成に依存して変化する。ここでは、インジウムの含有量が多い程、その発光波長は長くなる。すなわち、多重量子井戸隣接層104は、その面内において、インジウムの組成が高い領域が島状に存在することが分かった。その分布状態と発光波長を詳細に調べた結果、多重量子井戸隣接層104の各井戸層には、直径約2nmで、インジウム組成約30%の島状の領域が多数形成されていることが分かった。この島状の領域は周辺に比べInが多く、活性層105からの発光波長に対応するバンドギャップとほぼ同じバンドギャップを有する。また、多重量子井戸層104には、前述したようにシリコン（Si）をドーピングしているが、図3に示したように、インジウム濃度が高い領域にはシリコンが含まれにくく、その結果として、インジウム濃度が高い部分のキャリア濃度は低い。

【0026】図4は多重量子井戸隣接層104におけるInGaIn井戸層とGaIn障壁層のペアのコンダクション・バンドの状態を示す模式図である。すなわち同図において、横方向は隣接層104の厚み方向の距離を示し、縦方向はエネルギー・レベルを示している。同図に示したように、GaIn障壁層に高濃度にドナーが存在してエネルギー・バンドが大きく湾曲している。このようにエネルギー・バンドが湾曲することにより、この部分でのInGaIn井戸層へのキャリアの閉じ込めは有効質量の小さい電子に対しては弱くなり、発光は生じない。また、活性層105が発光することにより、この隣接層104でのIn組成の多い部分での吸収が生じるが、その吸収は、微少な島状の領域で起こる。従って、隣接層104は可飽和吸収状態となり自励発振状態となる。このような自励発振状態は高出力の条件であっても持続した。また、この隣接層104に含まれる不純物を、n型不純物であるシリコン（Si）、炭素（C）、ゲルマニウム（Ge）、スズ（Sn）、鉛（Pb）のいずれかとした場合には、しきい値上昇等の悪影響はなかった。

【0027】本実施形態のレーザはしきい値20mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は

3.8Vであった。50mW時にS/Nは本構造を用いない従来の半導体レーザの20dBに比べ130dBと向上した。また、従来の活性層近傍に可飽和吸収層を設けた厚い活性層の自励発振型レーザでは高出力は困難であったが本実施形態では200mWまで安定した横モードで出力を出す事ができた。

【0028】次に、本発明者は、前述した製造方法により島状の吸収領域が形成された本発明の窒化物系レーザを多数個製造し、自励発振の生ずる割合を調べた。図5は、製造した窒化物系半導体レーザについて光出力を変化させて発光させた場合、自励発振を生じた窒化物系半導体発光素子の割合を示したグラフである。同図において、横軸は光出力を示し、縦軸は自励発振を起こした窒化物系半導体発光素子の割合を示す。図中の黒丸は本発明の窒化物系半導体発光素子を表す。また図中の白丸は、比較例であり、島状の吸収領域の代わりに、層状の吸収領域を形成した窒化物系半導体発光素子を示している。この比較例についてさらに詳しく説明すると、活性層からみてガイド層の外側に、層厚10nmのIn_{0.25}Ga_{0.75}N吸収層を設けた。

【0029】図4から、層状の吸収領域を設けた比較例では、自励発振を生ずる割合が低く、しかも安定していないのに対して、島状の吸収領域が形成された本発明の窒化物系半導体発光素子は低出力から高出力に亘って、自励発振を生ずる窒化物系半導体発光素子が得られる確率が安定して高いことが分かる。

【0030】図6は、本発明による半導体レーザを光ディスクのデータ読み出しに応用した状態を説明する模式図である。すなわち、同図においては、図示しない半導体レーザ素子からレーザ光150が放出され、レンズ152により集束されて光ディスク160に入射する。光ディスク160の表面には、同心円上にトラック162が設けられ、そのトラック162に沿ってビット164が形成されている。レンズ152により集束されたレーザ光は、このビット164の有無に応じて反射率が変化し、図示しない受光部において検出される。ここで、本発明による窒化物系半導体レーザから得られる波長が420nmのレーザ・ビームを用いた場合には、同図に示したようにレンズにより集束されて極めて細いビーム154Aを得ることができる。同図には、比較のために、従来の、DVDシステム（波長： λ =650nm、開口比：NA=0.6）のレーザ・ビーム154Bと、コンパクト・ディスクシステム（波長： λ =780nm、開口比：NA=0.45）のレーザ・ビーム154Cとを示した。これらの比較から明らかなように、本発明の窒化物系半導体レーザを用いた場合には、極めて集束されたレーザ・ビームを得ることができ、光ディスク160におけるトラック162の間隔と、ビット164の間隔をそれぞれ縮小することができる。その結果として、従来のDVDシステムと比較しても、記録容量を約3倍増

大することができる。

【0031】さらに、本発明の窒化物系半導体レーザによれば、同一の窒化物系半導体レーザにより、光記録媒体からの読み出し及び書き込みが可能になる。すなわち、本発明の半導体レーザは、容易に自励発振を生ずるために、データ読み出しを低いノイズで安定して行うことができ、さらに、高出力動作が可能であるために、データ書き込み動作も行うことができる。その結果として、データの読み出しと書き込みとを兼用できるピックアップ・ヘッドの構造を飛躍的に単純化できる。

【0032】なお、前述した例では、多重量子井戸隣接層104は3ペアーの井戸層と障壁層のものをを用いたが、ペアー数は層の厚さとInの組成により適宜決定することができる。また、障壁層はGa_{0.9}Nに限定されず、InやAl等を含んだ材料でもよい。

【0033】次に、本発明の第2の実施形態について説明する。図7は本発明の第2の実施形態に係わる窒化物系半導体レーザの概略構成を説明する断面図である。同図において、200はp型SiC基板、201はp型Al_{0.1}Nバッファ層(Mgドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1 μm)、202はp型Ga_{0.9}N層(Mgドープ、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、4 μm)、203はp型Al_{0.1}、Ga_{0.9}、Nクラッド層(Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3 μm)、204はAl_{0.1}、Ga_{0.9}、N隣接層(アンドープ、0.1 μm)、205は多重量子井戸活性層In_{0.1}、Ga_{0.9}、N/Al_{0.1}、Ga_{0.9}、N(アンドープ、井戸幅1nm、障壁幅2nm、ペアー数3)、206はAl_{0.1}、Ga_{0.9}、N隣接層(アンドープ、0.1 μm)、207はn型Al_{0.1}、Ga_{0.9}、Nクラッド層(Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3 μm)、208はp型Ga_{0.9}N電流狭窄層(Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1 μm)、209はn型Ga_{0.9}Nコンタクト層(Siドープ、 $1 \sim 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1 μm)、210はn側電極、211はp側電極である。

【0034】この窒化物系半導体レーザの製造方法は次のとおりである。始めにMOCVD法によりp型Ga_{0.9}N電流狭窄層208まで成長しその後、p型Ga_{0.9}N電流狭窄層208の上に一部フォトリソグラフィによりマスク(図示せず)を形成し、n型Al_{0.1}、Ga_{0.9}、Nクラッド層207が露出するまでエッチングを行う。次に、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層209を成長する。両面に電極を形成し、その後劈開により共振器の端面(facet)を形成する。

【0035】本実施形態においては、In_{0.1}、Ga_{0.9}、N/Al_{0.1}、Ga_{0.9}、N多重量子井戸活性層205も、前述した実施形態の多重量子井戸隣接層104と同様なプロセスにより製造する。具体的には、InGa_{0.9}Nの成長にはTMG、TMIおよびアンモニアガスを用い、AlGa_{0.9}N層の成長には、TMA(トリメチルアルミニウム)、TMG、アンモニアガスを用い、成長温度860

℃、原料のV/III比が約170、各層での成長中断時間を1秒として、3回繰り返して成長させる。この結果、井戸厚2nm、障壁厚4nm、ペアー数3の多重量子井戸層を形成できる。

【0036】このようなプロセスにより、多重量子井戸活性層205の井戸層部分にもインジウム(In)組成が局所的に多い領域が形成される。具体的には、各井戸層において、直径2nm、In組成約20%の島状の領域が面内に分布して多数形成される。この領域は周辺に比べInが多いことにより、格子定数がずれて、歪みがかかる。その結果として、Inの含有量は多いがバンドギャップは周辺の領域と10meV以下の違いしかない。この半導体レーザに電流を注入すると、In組成が高いこの島状の領域ではドーバントのSiが少なく導電性が低いため発光が効率的に行われる。

【0037】図8は、この活性層205を透過型電子顕微鏡(transmission electron microscope)により観察した結果を表す模式図である。すなわち、活性層205においては、In濃度が周辺より高濃度となっている島状の領域が面内方向に規則正しく並んでいる。このインジウム高濃度組成領域の直径は、概ね70nmであり、その間隔は概ね200nmであった。また、本発明者の実験の結果、成長条件を変える事によってこの島状領域の間隔をコントロールできる事が判明した。

【0038】この島状領域相互の間隔をd、この島状領域の周辺部の屈折率をnとした場合、高濃度領域の発光波長がλであれば $d = \lambda m / 2n$ (m=1、2、3、4)の場合がもっとも自励発振を安定して生ずる事ができた。なお、mが4を超える場合には自励発振の安定性が低下した。これは通常、多数ある発振モードが選択されることによると考えられる。

【0039】本実施形態によれば、分布帰還型レーザのような複雑な構造を用いなくても、自励発振を行うことができ、低ノイズ化が実現できることが分かった。

【0040】図9は発光波長400~430nmのそれぞれにおける最適成長条件を表すグラフである。すなわち、同図の横軸は成長温度(℃)で、縦軸はInの含有割合(%)を示し、それぞれの発光波長において、固層中のInの含有割合と、成長温度の最適条件を示す。

【0041】活性層内に形成される島状のインジウム高濃度領域においてはドナーが少ない。従って、島状の領域は発光効率が高く、さらに、量子的な閉じ込め効果により発光効率の高い励起子分子(双極子)の安定的な存在を促進する。これにより高In濃度の島状領域は体積的には微小であるが、レーザ発振するのに十分な反転分布を形成することが可能である。一方、Inが高濃度の領域の周辺の低In領域においては、バンドギャップは島状領域よりも大きいもののドナーが存在するためにその

準位による吸収により可飽和吸収層として働き自励発振状態となる。この状態は高出力時であっても持続した。

【0042】活性層にドーピングする不純物については、n型となるSi、C、Ge、Sn、Pb以外ではしきい値が上昇して実用的ではなかった。一方、Siの場合には、特に高い発光効率が得られた。

【0043】本構造の半導体レーザではしきい値10mAで発振波長は375nmが得られ、基本横モード発振し、5000時間までの安定動作も確認した。本実施形態では基板としてSiCを用いたが導電性の基板であれば良く、ZnO基板の場合にはさらに優れた電流電圧特性が得られた。また、電流狭窄層208は活性層205に対して基板200の側に設けても良く、また、活性層205の両側に設けても良い。また、電流狭窄層の材料は、コンタクト層に比べ屈折率の高い材料でもよい。

【0044】次に、本発明の第3の実施形態を説明する。図10は本発明の第3の実施形態を示す窒化物系半導体レーザの断面図である。同図において、300はサファイヤ基板、301はGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層(0.01μm)であり、302はp型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層(Mgドーピング、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、1μm)、303はp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(Mgドーピング、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3μm)、304はp型Ga_{0.9}N_{0.1}隣接層(Mgドーピング、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1μm)、305はIn_{0.1}Ga_{0.9}N/Ga_{0.9}N多重量子井戸活性層(アンドーピング、井戸幅2nm、障壁幅4nm、ベア数3)、306はn型Ga_{0.9}N_{0.1}隣接層(Siドーピング、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、0.1μm)、307はn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層(Siドーピング、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3μm)、308はp型Ga_{0.9}N_{0.1}通電障壁層(Mgドーピング、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3μm)、309はn型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層(Siドーピング、 $1 \sim 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.5μm)、310はn側電極、311はp側電極である。

【0045】以下にその製造方法の概略を述べる。結晶成長はMOCVD法によって行った。始めに、サファイヤ基板300にMOCVD法によりGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層301を成長させるが、サファイヤ基板300は図11(a)、(b)に示されるように、スリット状の切れ目320が入っているものを用いた。ここで、切れ目320の開口は、例えば、約250μm×30μm、切れ目同士の間隔は約250μm程度とすることができる。

【0046】本実施形態においては、まず、サファイヤ基板300上に横方向の成長速度が速くなる条件でGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層301の成長を行う。すなわち、結晶成長時に、Ga_{0.9}N_{0.1}の供給速度に対して成長温度を十分に高くすることにより、基板表面でのGa_{0.9}N_{0.1}原子の移動が高まる。このような条件でバッファ層301を成長することによって、サファイヤ基板300の切れ目320の部分はGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層301で塞がれる状態とな

る。

【0047】その後、通常の成長状態で順次p型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層302からp型Ga_{0.9}N_{0.1}通電障壁層308まで成長を行う。p型Ga_{0.9}N_{0.1}通電障壁層308まで成長した後、フォトリソグラフィによりp型Ga_{0.9}N_{0.1}通電障壁層308の上に部分的にマスク(図示せず)を形成し、

n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層307が露出するまでエッチングを行う。次にマスクを除去し、n型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層309を成長する。コンタクト層309の上にNiとAuを蒸着してn側電極310を形成する。また、基板300下面側よりGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層301をエッチングにより除去し、Pt、Ti、Auを順次蒸着してp側電極311を形成する。これをレーザ素子とするため劈開により端面(図示せず)を形成し、ダイシングにより半導体発光素子を分離して図10の半導体レーザを得る。端面には図示しないが誘電体多層膜による高反射コートを施してある。

【0048】次に、本実施形態における上記In_{0.1}Ga_{0.9}N/Ga_{0.9}N多重量子井戸活性層305の具体的な成長条件を説明する。成長温度は740℃で、InGa_{0.9}N層はTMG、TMIおよびアンモニアガスを用い、Ga_{0.9}N層はTMGおよびアンモニアガスを用いる。InGa_{0.9}N井戸層は成長速度がIn_{0.1}Ga_{0.9}Nの厚膜成長で1μm/hの得られる成長条件で7秒、Ga_{0.9}N障壁層はTMIを止めて20秒の成長を行う。また、InGa_{0.9}N井戸層とGa_{0.9}N障壁層の成長の間には1.5秒の待機時間を設ける。厚膜と量子井戸のような薄膜とでは成長条件が同じでも成長速度が異なるが、これは成長の初期過程で成長速度が異なるためである。このような成長を行うことにより、In_{0.1}Ga_{0.9}N/Ga_{0.9}N多重量子井戸活性層305内にはIn組成が局所的に多い部分が井戸層部分に形成される。具体的には各井戸層に直径2nm、In組成約30%の領域が多数形成される。この領域は周辺に比べInが多いことにより歪みがかかり、これによりInが多いがバンドギャップは周辺の領域と10meV以下の違いしかない。この窒化物系半導体レーザに電流注入を行った場合、In組成が高いこの領域ではドーバントのSiが少なく導電性が低くキャリアの注入は主にその周辺に行われる。

【0049】図12は、活性層305の透過型電子顕微鏡による観察の結果を表す模式図である。すなわち、電子顕微鏡により格子像を観察した結果、活性層305においては、数nmの径の島状領域が点在することが観察された。特性X線スペクトル分析法を用いてこの島状の領域の組成を調べた結果、周囲よりもIn濃度が高いことが確認された。さらに、カソードルミネッセンス法により観察した結果、この島状領域に対応して規則正しく並んだ発光点が観測できた。

【0050】このような島状の領域が形成される原因は、Ga_{0.9}Nの上にGa_{0.9}Nと格子整合しないInGa_{0.9}Nを

成長するために、島状の成長が起こるからであると考えられる。ここで、本発明者は、種々の成長条件で形成した島状領域の直径と、半導体レーザの外部量子効率との関係について調べた。

【0051】図13は、島状領域の大きさと外部量子効率との関係を表すグラフである。すなわち、同図において、縦軸は外部量子効率を表し、横軸は島状領域の平均径を表す。同図から分かるように、島状領域の直径が小さくなるほど、外部量子効率が増加する傾向が得られた。特に高い外部量子効率を得るためには、島状領域の直径は100nm以下であることが望ましい。島状領域の径がこれ以上大きくなると、図13に示すように発光効率が著しく低下することが分かった。

【0052】次に、本発明者は、島状領域とその周辺部のインジウムの濃度の2次元的な分布を詳細に調べた結果、直径が100nm以下の島状領域が存在するためには、島状領域の端部において、2nmごとに10%以上の割合でインジウム濃度が変化する必要があることが分かった。つまり、島状領域の端部において、これ以上の急峻なインジウム濃度の増加がある場合には、直径100nm以下の島状領域が存在し得ることが分かった。

【0053】活性層内の高In組成部はドナーが少ないのでIn組成の高い部分は発光効率が良い。また、量子的な閉じ込め効果により発光効率の良い励起子分子の安定的な存在を促す。これにより島状の高In領域は、体積的には微小であるが発振するに十分な反転分布を形成することが可能である。そして島状高濃度領域の周辺の低In領域は、バンドギャップは島状高濃度領域より大きいものの、ドナーが存在するためにその準位による吸収により可飽和吸収層として働き自励発振状態となる。この状態は高出力時であっても持続した。

【0054】活性層にドーピングする不純物としては、n型となるSi、C、Ge、Sn、Pb以外ではしきい値が上昇し実用的ではなかった。この実施形態では活性層の下に、横方向に成長させたGaNバッファ層301が設けられているので極端に転位や欠陥が少ない。その結果として、リーク電流が抑制され、半導体発光素子の破壊も起こりにくかった。

【0055】また本実施形態の半導体レーザはしきい値20mAで室温連続発振し、発振波長は420nm、動作電圧は3.8Vであった。また、自励発振を行う事により50mW動作時のS/Nは、本構造を用いない従来の半導体レーザの20dBに比べ130dBと顕著に向上した。また、活性層に量子井戸構造を採用しているため自励発振で200mW、自励発振を維持しない場合は300mWの高出力を得る事ができた。また、半導体発光素子の寿命はライフテストにおける劣化傾向から10万時間以上と予想され、低ノイズ、高出力、高信頼性を実現できた。

【0056】本実施形態では基板としてサファイヤ基板

を用いているが石英ガラス、ダイヤモンド、BNなどでも良い。さらに成長方法としてMBE (Molecular Beam Epitaxy) 法を用いると、パイレックスガラスやZnO等も基板として用いる事ができる。

【0057】次に、本発明の第4の実施形態について説明する。第14図は本発明の第4の実施形態に係わる窒化物系半導体発光ダイオード(LED)の概略構成を説明するためのものである。同図において、400はサファイヤ基板、401はGaNバッファ層($3 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $4 \mu\text{m}$)、402はn型GaNコンタクト層(Siドーピング, $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $2 \mu\text{m}$)、403はn型GaN層(Siドーピング, $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $0.1 \mu\text{m}$)、404はIn_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN 3MQW活性層(Siドーピング, 井戸層2nm, 障壁層4nm)、405はp型GaN層(Mgドーピング, $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $0.1 \mu\text{m}$)、406はGaNコンタクト層(Mgドーピング, $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $0.05 \mu\text{m}$)、410はp側電極、411はn側電極、412はITO (Indium Tin Oxide) 透明電極である。

【0058】同図の各半導体層はMOCVD法により成長した。活性層404の成長時にはそれぞれのIn_{0.3}Ga_{0.7}N井戸層の成長後に成長中断時間を1秒から3秒設けてIn濃度が高い島状領域を作成した。活性層以外の成長は通常の成長方法で行った。成長後p電極となる部分をマスキングしn型GaNコンタクト層402が露出するまでドライエッチングしてメサ形状を形成する。マスクを除去し、メサの側面などリーク電流が流れやすい部分にはSiO₂を付けた。メサ形状の上面には全面透明電極を形成しさらに一部分でn側電極411に遠い部分にp側電極410を形成し、n側電極411を形成した。半導体発光素子構造とした。作成後に発光素子を分解し活性層部分を透過電子顕微鏡で観察したところ井戸層部分にInが周りより高い領域が観察され、その領域はほぼ4nmの直径であった。また、特性X線により調べたところ、この高濃度領域は周りのIn濃度が低い領域に比べIn濃度が10%程度多く含まれていることがわかった。素子の動作電圧は2.7Vで光出力は10mAで10mWであった。また、100mAでは50mWであった。発光効率も良く外部量子効率は30%に達した。このような高効率で発光強度が強い素子が実現できたのは、活性層にあるIn濃度が高い領域に注入されたキャリアが、その高In濃度領域に閉じ込められて非発光再結合をすることなく再結合したためである。本実施形態では光源として青色のみを用いているが、活性層中のIn量を増量することにより赤色光に近い波長まで発光可能となり、フィルタなどを用いれば、赤、緑、青の三原色ができ、GaN系のフルカラー発光素子を実現することもできる。

【0059】次に、本発明の第5の実施形態について説明する。図15は本発明の第5の実施形態に係わる窒化物系半導体発光素子の概略構成を説明するためのものである。同図に示した発光素子においては、サファイア基板500の上に、バッファ層501、n型GaNコンタクト層（Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $4 \mu\text{m}$ ）502、n型AlGaNクラッド層（Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$ ）503、ノンドープGaN隣接層（ $0.1 \mu\text{m}$ ）504、InGaN多重量子井戸（MQW）活性層505、ノンドープGaN隣接層（ $0.1 \mu\text{m}$ ）506、p型AlGaNクラッド層（Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$ ）507、p型GaNコンタクト層（Mgドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$ ）508、 SiO_2 （二酸化珪素）膜509が順次積層されている。また、510はp側電極、511はn側電極である。

【0060】製造方法は次の通りである。MOCVD法で基板500の上にバッファ層501を成長し、次に成長温度 1100°C でTMG（トリメチルガリウム）、TMA（トリメチルアルミニウム）、アンモニア、水素、窒素を用いて、n型GaNコンタクト層502、n型AlGaNクラッド層503、ノンドープGaN隣接層504を順次積層する。

【0061】次に、III族の原料ガスの供給を停止し、基板温度を 760°C に降温する。この温度で、TMGを -15°C に保ち、水素ガスをキャリアガスとして 10 cc/分 、アンモニアを 20°C で 10 L/分 、窒素を 19.7 L/分 流し、これに加えてTMI（トリメチルインジウム）を 37°C で窒素をキャリアガスとして 50 cc/分 と 15 cc/分 との組み合わせで約 1.5 分 ずつ20回繰り返し切り替えて供給し、InGaN多重量子井戸活性層505の成長を行う。

【0062】その後、TMGとTMIの供給を止めること

成長温度 ($^\circ\text{C}$)	600	625	650	675	700	725	750	775	800	825	850	875	900
PL発光強度 (任意目盛)	0.5	0.5	0.7	1.3	6.7	8.6	9.5	9.5	8.3	7	6.5	0.9	0.3

【0066】次に、本発明者は、成長温度を 760°C に固定し、原料ガスとキャリアガスの流量の総和を1分あたり30リットルにし、V族元素とIII族元素のモル流量比依存性を調べた。その結果、表2の様にV族元素とIII族元素のモル流量比が1000以上15000以下では十分な強度のPL発光が見られた。V族元素とIII族元素のモル流量比が1000を下回ると、十分に反応※

V/III比	700	1000	3000	5000	8400	11500	13000	15000	17000
PL発光強度 (任意目盛)	0.3	6.7	7.5	9.2	10	9.7	8.5	7.3	0.5

※とて成長を停止し、水素を 40 cc/分 、窒素を 19.96 L/分 、アンモニアを 10 L/分 の流量で流しながら、 1100°C まで4分間かけて昇温する。ついで温度を 1100°C で保持し、水素を 500 cc/分 、窒素を 14.5 L/分 、TMGを 100 cc/分 、アンモニアを 10 L/分 の流量供給してノンドープGaN隣接層506を積層する。その後これに Cp_2Mg （ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）とTMAを加えてp型AlGaNクラッド層507を形成し、次にTMAの供給を止めてp型GaNコンタクト層508を積層する。この後、 SiO_2 膜509の堆積、フォトリソグラフィ、エッチング、p側電極510、n側電極511の蒸着、アロイ等の行程を経て図15に示す窒化物系半導体発光素子が完成する。

【0063】なお、前述の工程においては、隣接層504を成長した後に成長温度を 760°C まで高温したが、この温度は、 700°C 以上 850°C 以下であることが望ましい。以下に、この理由を説明する。

【0064】本発明者は、InGaNの成長条件を調べるために、まず、原料ガスとキャリアガスの流量の総和を1分あたり30リットルにし、V族元素とIII族元素のガスの流量比を8400にし、様々な成長温度でInGaNの成長を行った。これをフォトルミネッセンス（Photo Luminescence: PL）で評価したところ、表1に示すように 700°C 以上 850°C 以下の範囲において、十分な強度のPL発光が観測できた。成長温度が 700°C を下回ると、成長が不十分となり、PL発光強度が上がらない。成長温度が 850°C を上回ると、結晶がダメージを受けるため、PL発光強度が極端に低減した。

【0065】

【表1】

※しないため、PL発光強度が上がらない。V族元素とIII族元素のモル流量比が15000を上回ると、本来III族元素が反応するべき結晶格子にもV族元素が割り込んで反応してしまい、III族元素が十分に反応できないため、PL発光強度が極端に低減した。

【0067】

【表2】

【0068】さらに、成長温度を760°Cに固定し、V族元素とIII族元素の流量比を8400にし、すべての原料ガスとキャリアガスの1分間あたりの総流量に対する依存性を調べたところ、表3の様に1分間あたりの総流量が10リットル以上、50リットル以下では十分な強度のPL発光が見られた。1分間あたりの総流量が1*

総流量 (1/分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
PL発光強度 (任意目盛)	0.2	5.7	6.3	7.5	9.2	10	9.5	8.2	7.3	5.3	0.2

【0070】本実施形態では、InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層505およびノンドープGa_{0.9}N隣接層506ともに意図的にはドーピングを施していない。本発明者の実験によれば、上記のように成長した場合、Ga_{0.9}N層の方がInGa_{0.9}N層よりも高抵抗であることがわかってい

る。また、上記のように成長したものの断面をTEM（透過電子顕微鏡）で観察したところ、InGa_{0.9}N多重量子井戸活性層505に穴状領域（ビット）が存在し、このビットがノンドープGa_{0.9}N隣接層506によって埋め込まれ、平坦化されていることがわかった。従っ

て前記の実施形態の半導体発光素子によれば、以下に述べる原理により自励発振が生じる。

【0071】すなわち、活性層に穴状領域が存在することにより、活性層内を流れる電流に分布ができ、低電流密度領域が可飽和吸収領域となるので、自励発振が生じる。このことについて以下に詳述する。

【0072】図16は、本実施形態の発光素子における注入電流の流れを示す断面模式図である。同図においては、分かり易くするために、図16に示した発光素子の構造を簡略化した構造を例示して説明する。図16に示したように、ノンドープGa_{0.9}N層553とノンドープInGa_{0.9}N層554のヘテロ接合があり、しかもノンドープInGa_{0.9}N層554側の界面には穴（ビット）Pがある。両者にはそれぞれp型コンタクト層552、n型コンタクト層555を介してp側電極551、n側電極556が接続されている。

【0073】いま、両電極に順方向に電圧をかけたとなると、ノンドープGa_{0.9}N層553の方がノンドープInGa_{0.9}N層554に比べてバンドギャップが大きいために、電流は図16中の矢印で示すように流れ、InGa_{0.9}N層554のうちの穴状領域の下の部分の電流密度は他の領域の電流密度に比べて、疎になる。

【0074】本発明者は、この現象を実証するために二次元のシミュレーションを実行し、電流の分布を調べた。図17にシミュレーションで用いた層構造を示す。層構造はレーザ構造を模したものであり、5×10¹⁸cm⁻³にドーブされた厚さ0.1μmのn型Ga_{0.9}Nコンタクト層561、5×10¹⁷cm⁻³にドーブされた厚さ0.3μmのn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層562、厚さ0.1μmのノンドープGa_{0.9}N隣接層563、

*0リットルを下回ると、十分に反応しないため、PL発光強度が上がらない。1分間あたりの総流量が50リットルを上回ると、流速が早くなり、十分な反応時間がとれないため、PL発光強度が極端に低減した。

【0069】

【表3】

厚さ0.1μmのノンドープIn_{0.9}Ga_{0.9}N活性層564、厚さ0.1μmのノンドープGa_{0.9}N隣接層565、5×10¹⁷cm⁻³にドーブされた厚さ0.3μmのp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層566、5×10¹⁸cm⁻³にドーブされた厚さ0.1μmのp型Ga_{0.9}Nコンタクト層567からなる。ノンドープIn_{0.9}Ga_{0.9}N活性層564のノンドープGa_{0.9}N隣接層563に接する界面には幅0.1μm、深さ0.05μmの穴状領域（ビット）Pが1μmの間隔を置いて並んでいる。実際のビットの形状はこのような矩形では必ずしもないが、計算の簡便化のためにこのような形状でシミュレーションを行った。形状の違いがシミュレーション結果に本質的な影響を及ぼさないことは言うまでもない。

【0075】このような構造に4Vの電圧を印加した時の穴状領域（ビット）の直下での電流密度の分布を図18に示す。ビットの部分で電流密度が30%以上も低減している。このように電流の疎密が穴状領域の存在によってもたらされることが明らかとなった。そして、このような電流分布が生じることになり、レーザ発振が生じる際には、まず、電流が密な部分で発振が始まり、電流が疎の部分で可飽和吸収体となることになる。尚、隣接層がノンドープでなく、5×10¹⁷cm⁻³にドーブされている場合についても同様の結果であった。このように、穴状領域が存在することで、電流の疎密が発生することになる。そして、電流が疎の部分は可飽和吸収体となり、自励発振が実現できる。

【0076】次に、本発明の第6の実施の形態について説明する。図19は本発明の第6の実施形態に係わる窒化物系半導体発光ダイオードの概略構成を説明するためのものである。すなわち、同図の発光ダイオードにおいては、サファイヤ基板600上に、バッファ層601、n型Ga_{0.9}Nクラッド層（Siドーブ、3~5×10¹⁸cm⁻³、4μm）602、ノンドープInGa_{0.9}N活性層（0.2μm）603、p型Ga_{0.9}Nクラッド層（Mgドーブ、5×10¹⁷cm⁻³、0.3μm）604、p型Ga_{0.9}Nコンタクト層（Mgドーブ、5×10¹⁸cm⁻³、0.5μm）605が順次積層されている。また、610はp型透明電極、611はn型電極である。

【0077】このようにして本発明の第6の実施形態に係わる窒化物系半導体発光ダイオードを作成すると、ノ

ンドープInGa_{0.9}N活性層603のp型Ga_{0.9}Nクラッド層604側の界面に穴状領域(ビット)が形成される。このようにビットが形成されることで凹凸が生じることになる。凸の部分603Aは周囲をGa_{0.9}Nに囲まれたInGa_{0.9}N層である。このように周囲をバンドギャップの大きい材料で囲まれた領域には励起子が局在することになり、発光効率が増大する。すなわち、このようにして本発明を用いることにより発光効率の高い発光ダイオードを得ることができる。

【0078】次に、本発明の第7の実施の形態について説明する。図20は本発明の第7の実施形態に係わる窒化物系半導体発光素子の概略構成を説明するためのものである。同図において、700はサファイア基板、701はバッファ層、702はn型Ga_{0.9}Nコンタクト層(Siドープ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $4\mu\text{m}$)、703はn型AlGa_{0.9}Nクラッド層(Siドープ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.3\mu\text{m}$)、704はn型In_{0.1}Ga_{0.9}N/In_{0.02}Ga_{0.98}N多重量子井戸隣接層(Siドープ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、井戸幅2nm、障壁幅4nm、20層)、705はIn_{0.2}Ga_{0.8}N/In_{0.05}Ga_{0.95}N多重量子井戸活性層(ノンドープ、井戸幅2nm、障壁幅4nm、10層)、706はp型Ga_{0.9}N隣接層(Mgドープ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.1\mu\text{m}$)、707はp型AlGa_{0.9}Nクラッド層(Mgドープ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.3\mu\text{m}$)、708はp型Ga_{0.9}Nコンタクト層(Mgドープ、 $5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $0.5\mu\text{m}$)、709はSiO₂膜、710はp側電極、711はn側電極である。

【0079】n型In_{0.1}Ga_{0.9}N/In_{0.02}Ga_{0.98}N多重量子井戸隣接層704は次のように成長させる。成長温度は760℃で、In_{0.1}Ga_{0.9}N井戸層の成長にはTMI、TMG、アンモニア、SiH₄を用い、厚さが2nmの井戸層を成長する。次に、1秒間、アンモニアだけを供給した状態で待機したのち、TMI、TMG、アンモニア、SiH₄を用いて厚さが4nmのIn_{0.02}Ga_{0.98}N障壁層を成長する。つぎに再度1秒間の待機時間をおいて井戸層を同様に成長する。このようなプロセスを合計20回繰り返すことでn型In_{0.1}Ga_{0.9}N/In_{0.02}Ga_{0.98}N多重量子井戸隣接層704が形成できる。

【0080】また、In_{0.2}Ga_{0.8}N/In_{0.05}Ga_{0.95}N多重量子井戸活性層705の成長方法は次の通りである。760℃の成長温度で、In_{0.2}Ga_{0.8}Nを2nm成長し、1秒間の待機時間を設けてIn_{0.05}Ga_{0.95}Nを成長する。このサイクルを合計10回繰り返す。

【0081】このような成長方法によってn型In_{0.1}Ga_{0.9}N/In_{0.02}Ga_{0.98}N多重量子井戸隣接層704とIn_{0.2}Ga_{0.8}N/In_{0.05}Ga_{0.95}N多重量子井戸活性層705共に、島状領域を有し、かつ、ピッ

トを有する構造を形成することが可能となる。

【0082】以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明はこれらの具体例に限定されるものではない。例えば、前述した第1から第7の実施形態では活性層はノンドープ層であるが、n型あるいはp型にドープされていても良い。またこれに隣接する層はドーピングされていなくても、あるいはn型やp型にドーピングされていても良い。その他、本発明はその要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施できる。

【0083】

【発明の効果】以上詳述したように本発明の窒化物系半導体レーザによれば、複雑な構造を用いずに、自励発振を生じる窒化物系半導体発光素子が高い確率で得られる。これによって、低ノイズの特性をもった光ディスク記録の読み出し用半導体レーザとして実用可能な性能を満たした半導体レーザを安価に容易に作成でき、その有用性は絶大である。さらに、同じ構造の窒化物系半導体レーザにより記録媒体からの読み出しおよび書き込みが可能になり読み出し書き込み兼用ヘッドの構造を飛躍的に単純化できた。一方、本発明の窒化物系半導体発光ダイオードによれば、発光効率の高い窒化物系発光ダイオードが得られた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の窒化物系半導体発光素子の第1の実施形態を示す断面図である。

【図2】図1に示す多重量子井戸隣接層104の面内発光分布を表す模式図である。

【図3】図1に示す多重量子井戸隣接層104におけるIn組成比とドナー濃度の関係を示すグラフである。

【図4】図1に示す多重量子井戸隣接層104におけるバンド構造を示す模式図である。

【図5】図1に示す窒化物系半導体発光素子の光出力に対する自励発振生起割合を示すグラフである。

【図6】半導体レーザを光ディスクの読み出しに応用した状態を説明する模式図である。

【図7】本発明の窒化物系半導体発光素子の第2の実施形態を示す断面図である。

【図8】図7に示す活性層205を透過型電子顕微鏡により観察した結果を表す模式図である。

【図9】図7に示す窒化物系半導体発光素子の製造条件を示すグラフである。

【図10】本発明の窒化物系半導体発光素子の第3の実施形態を示す断面図である。

【図11】図10に示す窒化物系半導体発光素子に用いる基板の構造を示す概略図で、(a)は平面図、(b)は側面図である。

【図12】図10に示す活性層305の透過型電子顕微鏡による観察の結果を表す模式図である。

【図13】図10に示す活性層305における島状領域

の平均径と半導体発光素子の外部量子効率の関係を示すグラフである。

【図14】本発明の窒化物系半導体発光素子の第4の実施形態を示す断面図である。

【図15】本発明の窒化物系半導体発光素子の第5の実施形態を示す断面図である。

【図16】隣接層が活性層よりもバンドギャップが大きい場合の電流経路を示す概略図である。

【図17】2次元のシュミレーションで用いた層構造を示す概略図である。

【図18】図17に示した素子に対する2次元のシュミレーションにおいて4Vの電圧を印加した時の穴状領域の直下での電流密度の分布図である。

【図19】本発明の窒化物系半導体発光素子の第6の実施形態を示す断面図である。

【図20】本発明の窒化物系半導体発光素子の第7の実施形態を示す断面図である。

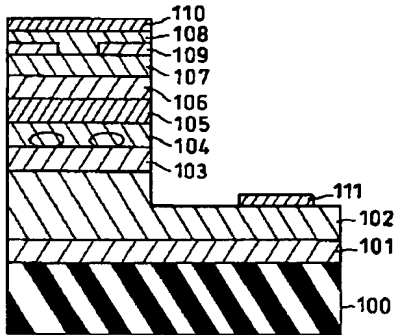
【符号の説明】

100 サファイヤ基板、
101 n型Ga_{0.9}Nバッファ層
102 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
103 n型Al_{0.1}GaNクラッド層
104 n型In_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN多重量子井戸活性層
105 In_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN多重量子井戸活性層
106 p型Ga_{0.9}N隣接層
107 p型Al_{0.1}GaNクラッド層
108 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
109 n型Ga_{0.9}N通電障壁層
110 p側電極
111 n側電極
150 レーザ光
152 レンズ
154A 本発明による窒化物系半導体レーザ・ビーム
154B 従来のDVDシステムのレーザ・ビーム
154C コンパクト・ディスクシステムのレーザ・ビーム
160 光ディスク
162 トラック
164 ビット
200 p型SiC基板
201 p型Al_{0.1}Nバッファ層
202 p型Ga_{0.9}N層
203 p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層
204 Al_{0.1}Ga_{0.9}N隣接層
205 In_{0.1}Ga_{0.9}N/Al_{0.1}Ga_{0.9}N多重量子井戸活性層
206 Al_{0.1}Ga_{0.9}N隣接層
207 n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層

208 p型Ga_{0.9}N電流狭窄層
209 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
210 n側電極
211 p側電極
300 サファイヤ基板
301 Ga_{0.9}Nバッファ層
302 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
303 p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層
304 p型Ga_{0.9}N隣接層
10 305 In_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN多重量子井戸活性層
306 n型Ga_{0.9}N隣接層
307 n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層
308 p型Ga_{0.9}N通電障壁層
309 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
310 n側電極
311 p側電極
400 サファイヤ基板
401 Ga_{0.9}Nバッファ層
20 402 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
403 n型Ga_{0.9}N層
404 In_{0.1}Ga_{0.9}N/GaN 3MQW活性層
405 p型Ga_{0.9}N層
406 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
410 p側電極
411 n側電極
412 ITO透明電極
500 サファイヤ基板
501 バッファ層
30 502 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
503 n型Al_{0.1}GaNクラッド層
504 ノンドープGa_{0.9}N隣接層
505 InGa_{0.9}NMQW活性層
506 ノンドープGa_{0.9}N隣接層
507 p型Al_{0.1}GaNクラッド層
508 p型Ga_{0.9}Nコンタクト層
509 SiO₂膜
510 p側電極
511 n側電極
40 551 p側電極
552 p型コンタクト層
553 ノンドープGa_{0.9}N層
554 ノンドープInGa_{0.9}N層
555 n型コンタクト層
556 n側電極
P ビット
561 n型Ga_{0.9}Nコンタクト層
562 n型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層
563 ノンドープGa_{0.9}N隣接層
50 564 ノンドープIn_{0.1}Ga_{0.9}N活性層

- 565 ノンドープGa_{0.9}N_{0.1}障層
 566 p型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nクラッド層
 567 p型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層
 600 サファイヤ基板
 601 バッファ層
 602 n型Ga_{0.9}N_{0.1}クラッド層
 603 ノンドープInGa_{0.9}N_{0.1}活性層
 604 p型Ga_{0.9}N_{0.1}クラッド層
 605 p型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層
 610 p型透明電極
 611 n型電極
 700 サファイヤ基板
 701 バッファ層

【図1】

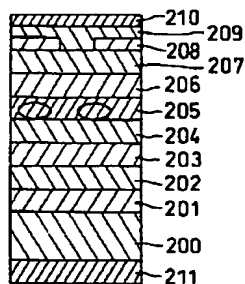


- 100: サファイヤ基板
 101: n型Ga_{0.9}N_{0.1}バッファ層
 102: n型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層
 103: n型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}クラッド層
 104: n型In_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}/Ga_{0.9}N_{0.1}多重量子井戸障層
 105: In_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}/Ga_{0.9}N_{0.1}多重量子井戸活性層
 106: p型Ga_{0.9}N_{0.1}障層
 107: p型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}クラッド層
 108: p型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層
 109: n型Ga_{0.9}N_{0.1}透明電極層
 110: p側電極
 111: n側電極

【図4】



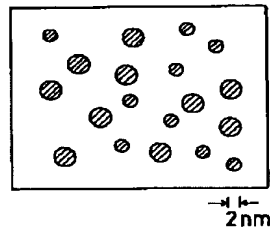
【図7】



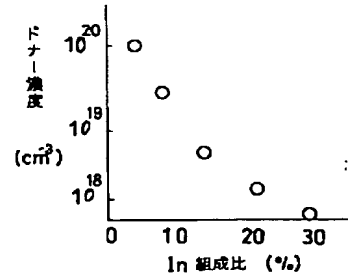
- * 702 n型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層
 703 n型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}クラッド層
 704 n型In_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}/In_{0.02}Ga_{0.98}N_{0.02}多重量子井戸活性層
 705 In_{0.2}Ga_{0.8}N_{0.2}/In_{0.05}Ga_{0.95}N_{0.05}多重量子井戸活性層
 706 p型Ga_{0.9}N_{0.1}障層
 707 p型Al_{0.1}Ga_{0.9}N_{0.1}クラッド層
 708 p型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層
 10 709 SiO₂膜
 710 p側電極
 711 n側電極

*

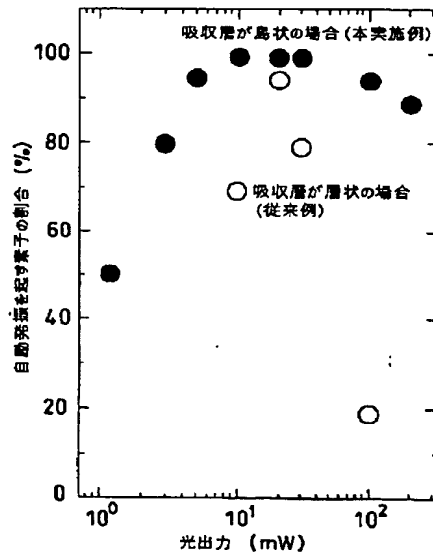
【図2】



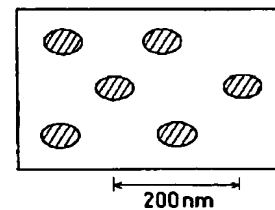
【図3】



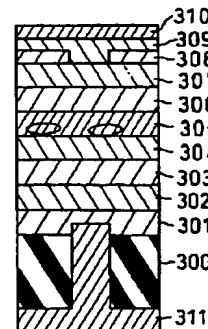
【図5】



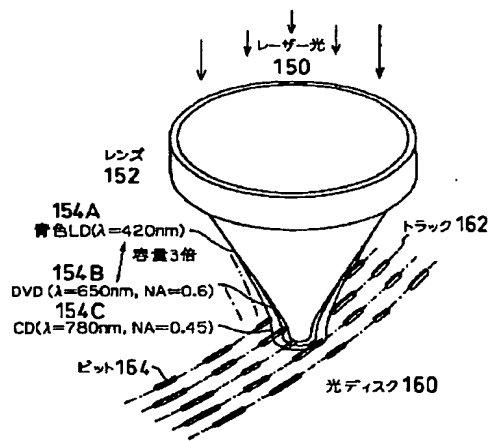
【図8】



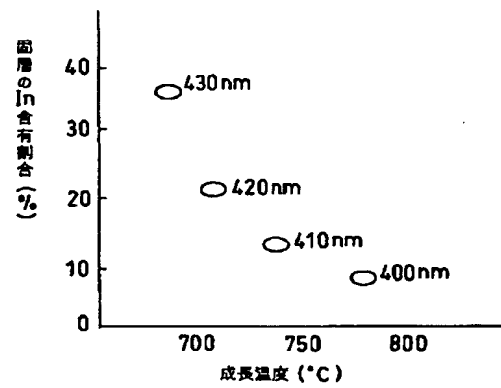
【図10】



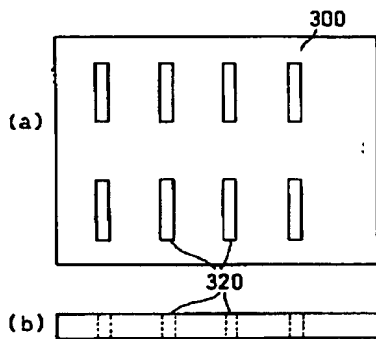
【図6】



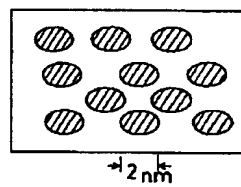
【図9】



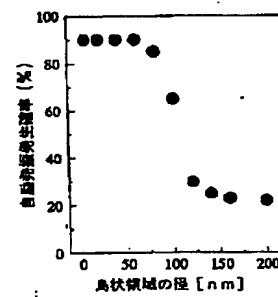
【図11】



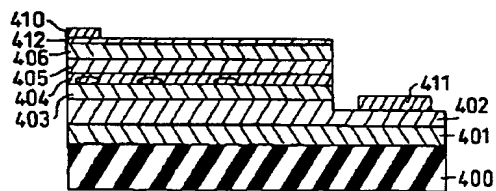
【図12】



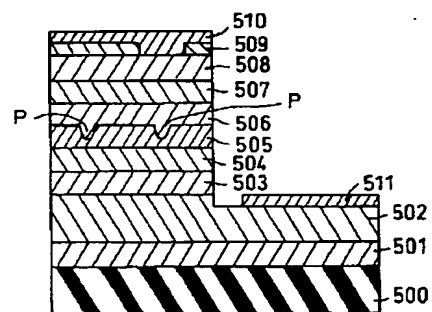
【図13】



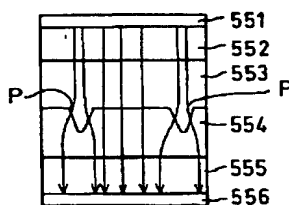
【図14】



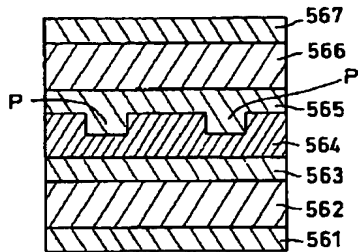
【図15】



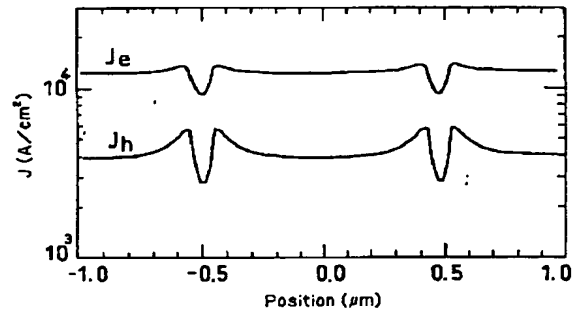
【図16】



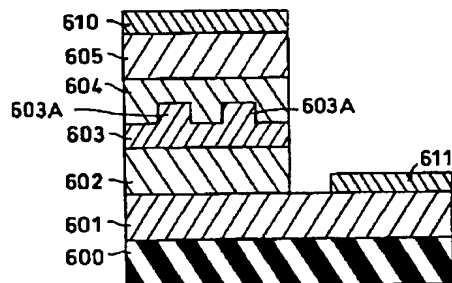
【図17】



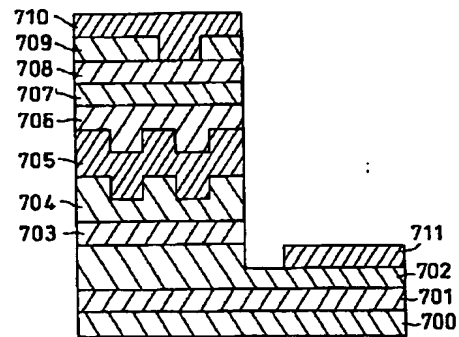
【図18】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(72)発明者 小野村 正明
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 藤本 英俊
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 野崎 千晴
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 西尾 譲司
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 石川 正行
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内